

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Marko Fornazarič

# **BLE v avtomatizaciji domače oskrbe**

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: doc. dr. Mira Trebar

Ljubljana, 2017



Fakulteta za računalništvo in informatiko podpira javno dostopnost znanstvenih, strokovnih in razvojnih rezultatov. Zato priporoča objavo dela pod katero od licenc, ki omogočajo prosto razširjanje diplomskega dela in/ali možnost nadaljne proste uporabe dela. Ena izmed možnosti je izdaja diplomskega dela pod katero od Creative Commons licenc <http://creativecommons.si>

Morebitno pripadajočo programsko kodo praviloma objavite pod, denimo, licenco *GNU General Public License*, različica 3. Podrobnosti licence so dostopne na spletni strani <http://www.gnu.org/licenses/>.

*Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.*



Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

Uporaba sodobnih tehnologij in internet stvari (Internet of Things) se vse bolj uveljavljata tudi v zdravstvu. Pojavljajo se potrebe po avtomatskem nadzoru starejših oseb v domačem okolju. Kandidat naj v diplomskem delu predstavi zasnovo sistema za avtomatiziran nadzor prostora in osebe, ki temelji na tehnologiji BLE (Bluetooth Low Energy). Izdela naj mobilno aplikacijo za lokalno spremljanje gibanja v zaprtih prostorih s pomočjo naprav iBeacon in predstavi njeno delovanje v realnem okolju.



## IZJAVA O AVTORSTVU ZAKLJUČNEGA DELA

Spodaj podpisani Marko Fornazarič, vpisna številka 63110411, avtor zaključnega dela z naslovom:

*BLE v avtomatizaciji domače oskrbe* (angl. *BLE in home care automation*)

### IZJAVLJAM

1. da sem pisno zaključno delo študija izdelal samostojno pod mentorstvom doc. dr. Mire Trebar;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, dne 25. januarja 2017

Podpis študenta:





*Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Miri Trebar za pomoč in svetovanje pri izdelavi diplomske naloge. Poleg tega se zahvaljujem svojim staršem, sestri ter svoji boljši polovici Dajani za vso podporo, ki so mi jo nudili v času študija.*



# Kazalo

Povzetek

Abstract

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Internet stvari</b>	<b>3</b>
2.1	Kaj je Internet stvari . . . . .	3
2.2	Tehnologije IoT . . . . .	3
2.3	Računalniške tehnologije v zdravstvu . . . . .	6
2.4	Nega na domu . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Bluetooth Low Energy</b>	<b>11</b>
3.1	Bluetooth standard . . . . .	11
3.2	Bluetooth 4.0 . . . . .	11
3.3	Podpora za BLE protokol . . . . .	14
3.4	BLE beacons . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Oddaljen nadzor bolnikov na domu</b>	<b>19</b>
4.1	Opis problema . . . . .	19
4.2	Opis rešitve . . . . .	20
4.3	Topologija Beacon in senzorska omrežja . . . . .	21
4.4	Aplikacija . . . . .	22
4.5	Zajem podatkov . . . . .	28
4.6	Zbiranje podatkov z mobilno aplikacijo . . . . .	29

4.7	Pošiljanje in obdelava podatkov . . . . .	29
4.8	Ukrepanje ob nastanku težav . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Testiranje</b>	<b>31</b>
5.1	Pregled . . . . .	31
5.2	Regularno delovanje . . . . .	32
5.3	Alarmi . . . . .	33
<b>6</b>	<b>Sklep</b>	<b>35</b>
	<b>Literatura</b>	<b>36</b>



# Seznam uporabljenih kratic

kratica	angleško	slovensko
<b>API</b>	Application Programming Interface	Vmesnik za programiranje aplikacij
<b>ATT</b>	Attribute protocol	Atributni protokol
<b>BLE</b>	Bluetooth Low Energy	Nizkoenergetski Bluetooth
<b>CMS</b>	Content Management System	Sistem za upravljanje vsebin
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning	Poslovni informacijski sistem
<b>FHSS</b>	Frequency Hopping spread spectrum	Frekvenčno preskakovanje na razpršenem spektru
<b>GAP</b>	Generic Access Profile	Splošni profil dostopa
<b>GATT</b>	Generic Attribute protocol	Splošni atributni protokol
<b>GPS</b>	Global Positioning System	Sistem za globalno pozicioniranje
<b>HCI</b>	Host Controller Interface	Vmesnik za nadzor gostitelja
<b>IoT</b>	Internet of Things	Internet stvari
<b>JSON</b>	JavaScript Object Notation	Objektna notacija za JavaScript
<b>L2CAP</b>	Logic Link Control and Adaptation Protocol	Protokol za upravljanje in prilagajanje logičnih povezav
<b>LE</b>	Low Energy	Nizkoenergetski
<b>NFC</b>	Near Field Communication	Komunikacija kratkega dosega
<b>POS</b>	Point of Sale	Prodajno mesto
<b>RFC</b>	Request for Comments	Zahteva za komentiranje
<b>RFID</b>	Radio-frequency identification	Radio-frekvenčna identifikacija
<b>SDK</b>	Software Development Kit	Orodja za razvoj programske opreme
<b>SIG</b>	Special Interest Group	Družba izjemnih interesov
<b>SM</b>	Security Manager	Upravitelj varnosti
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	Protokol za nadzor prenosa/Internetni protokol
<b>TX</b>	Transmission	Prenos
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency	Ultra visoke frekvence
<b>USB</b>	Universal Serial Bus	Univerzalno serijsko vodilo

# Povzetek

**Naslov:** BLE v avtomatizaciji domače oskrbe

Cilj diplomske naloge je predstaviti rešitev za avtomatizirano nadziranje bolnikov na domu, ki so deležni dnevne oskrbe s strani oskrbovalcev, z uporabo protokola Bluetooth Low Energy ter ostalih IoT tehnologij. Ker je implementacija celovitega sistema nadzora preobsežna za namene diplomske naloge, smo kot praktično dopolnitev izdelali aplikacijo za lokalno pozicioniranje v zaprtih prostorih s pomočjo iBeacon naprav, ki ponazarja samo del celotne rešitve. V prvem delu so predstavljene potrebne tehnologije za izvedbo takšnega sistema, v drugem pa opis praktične rešitve, vključno z opisom aplikacije za lokalno pozicioniranje.

**Ključne besede:** BLE, iBeacon, zdravstvo, nadzor na domu.





# Abstract

**Title:** BLE in home care automation

The goal of this thesis is to define and describe a solution for an automated supervision of patients at home, who are receiving home care by nursing staff, using the Bluetooth Low Energy protocol and other IoT technologies. Since an implementation of such a monitoring system is too large for the purpose of this thesis, we set the goal for the practical part to implement an application for indoor location positioning using iBeacon devices, which would be a part of the whole monitoring system. In the first part, key technologies for such an implementation are described and in the second part, how such a system should be implemented, including a detailed overview of the indoor positioning application.

**Keywords:** BLE, iBeacon, healthcare, home care.



# Poglavje 1

## Uvod

Zadnje desetletje lahko brez težav označimo kot razcvet mobilnih tehnologij. Pravzaprav si življenja brez pametnih telefonov, vsesplošne povezljivosti naprav ter neprekinjenega dostopa do informacij skoraj ne moremo več predstavljati. Pomembna je velika povezanost s socialnimi omrežji, preko katerih delimo svoje in spremljamo tuje bolj ali manj pomembne življenjske dogodke. Proizvajalci tako programske kot tudi strojne opreme se tega še kako zavedajo, zato smo v zadnjih časih priča ogromnemu številu novih storitev in naprav, ki skušajo vsesplošno povezljivost izboljšati ali nadgraditi. Čeprav se zdi, da je celoten razvoj usmerjen predvsem v zabavo, pa temu ni tako [1]. Večja podjetja skušajo tehnologije našega vsakdana uporabiti tudi v proizvodnih obratih, zdravstvu, energetiki idr. Velikemu napredku smo bili priča tudi na področju avtomatizacije procesov, zaradi katerega lahko opazamo precejšen porast proizvodnih kapacitet obratov, občutno manjše proizvodne stroške ter višjo kvaliteto izdelkov [2]. Panoga, pri kateri se obetajo velike spremembe, je tudi zdravstvo. V razvitejših državah se zaradi daljšanja povprečne življenjske dobe ter lažjega dostopa do zdravljenja in zdravlil veliko truda vloga v integracijo mobilnih tehnologij s procesi zdravljenja. Cilj je seveda zmanjšanje napak, zmanjšanje stroškov ter izboljšanje storitev, saj vse to neposredno vpliva na bolnike ter njihovo uspešnost premagovanja težav. Čeprav je cilj zmanjševanje napak osebja, morajo biti takšni sistemi teme-

ljito preverjeni in testirani, saj si ne moremo privoščiti uvajanja novih napak na škodo bolnikov. Zaradi tega je zakonodaja v Sloveniji (ter EU) izjemno stroga. Takšnih projektov se večinoma lahko lotevajo samo velika in izkušena podjetja.

Cilj diplomske naloge je konceptualno predstaviti rešitev, ki bi z uporabo sodobnih tehnologij interneta stvari pripomogla k izboljšanju storitev v zdravstvu, ter implementacija mobilne aplikacije za nadzor bolnikov. Naloga je usmerjena v zdravstveni segment nege na domu. V drugem poglavju je pregled ključnih tehnologij ter njihova uporaba. V tretjem poglavju je podrobneje opisana ključna tehnologija te diplomske naloge - Bluetooth Low Energy. Četrto poglavje vsebuje analizo problematike nege na domu z opisom aplikacije, ki je del rešitve problema, peto pa testiranje aplikacije v realnem okolju.

# Poglavje 2

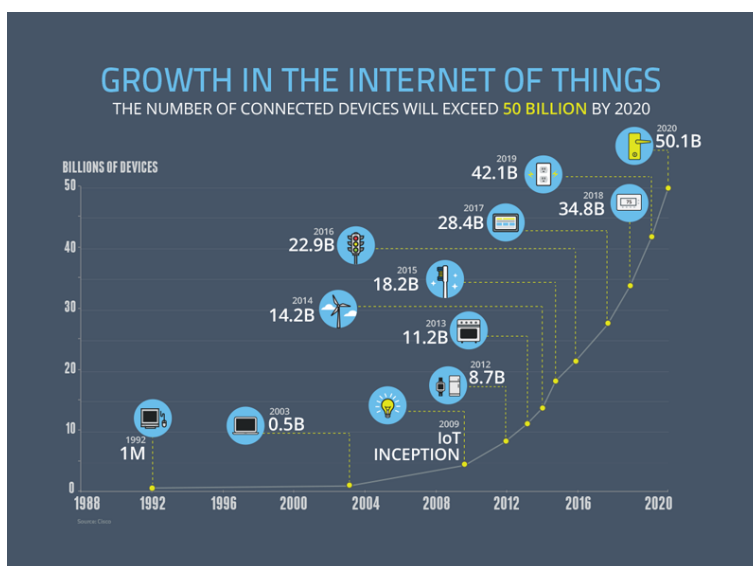
## Internet stvari

### 2.1 Kaj je Internet stvari

Kratika IoT (Internet of Things) zajema družino brezžičnih komunikacijskih protokolov in naprav namenjenih pretoku podatkov na kratkih razdaljah. Cilj njihove uporabe je predvsem gradnja manjših ali pa tudi večjih omrežij naprav za zajemanje in izmenjavo podatkov. Naprave omogočajo tudi oddaljeno nadziranje in upravljanje. S pomočjo IoT tehnologij podjetja razvijajo različne sisteme za avtomatizacijo, kot so pametne hiše, senzorsko avtomatizirana električna omrežja, pametna transportna omrežja (tovarne, avtomobili brez voznikov) idr. Ključnega pomena je, da so naprave povezane v internetno omrežje, saj lahko le tako komunicirajo med seboj ter z že obstoječimi sistemi. Slika 2.1 prikazuje podatke o številu naprav od leta 1998 in po mnenju strokovnjakov naj bi IoT do leta 2020 obsegal 50 milijard objektov [3].

### 2.2 Tehnologije IoT

Opisane so samo najpomembnejše in najprepoznavnejše tehnologije, ki jih zajema IoT in so pomembne za obravnavano področje diplomske naloge.



Slika 2.1: Rast števila naprav, ki uporabljajo IoT tehnologije [4]

### 2.2.1 RFID in NFC

RFID (angl. Radio-frequency Identification) se uporablja za identifikacijo objektov in njihovo sledenje. Značke so majhne naprave sestavljene iz mikročipa in antene, ki shranjujejo omejeno količino informacij. Napajanje lahko sprejemajo od RFID čitalca (pasivne značke), ali pa imajo svoj vir (aktivne značke). Ker poteka komunikacija preko radijskih valov, v večini primerov za branje ni potrebno vidno polje med značko in sprejemnikom. To omogoča, da se značka nahaja v oblačilih, denarnicah, za ohišji naprav ipd. RFID značke delimo tudi na tri skupine glede na tip signala, ki ga oddajajo. Nizkofrekvenčne (angl. Low-Frequency) oddajajo signal med 30 kHz in 300 kHz (običajno med 125 kHz in 134 kHz), zaradi česar so omejene na doomet do 10 cm in počasnejši pretok podatkov, signal pa je zaradi nizke frekvence odpornejši na radiofrekvenčne motnje. Zaradi nizkih frekvenc so takšne značke najprimernejše za označevanje stvari z visoko vsebnostjo vode ali kovine. Najpogostejša uporaba takšnih RFID značk je pri čipiranju in sledenju živali [5]. Druga skupina so visokofrekvenčne (angl. High Frequency) značke, ki

lahko oddajajo signal med 3 MHz in 30 MHz (običajno 13,56 MHz) in imajo doomet do enega metra. Te so zaradi višje frekvence oddajanja občutljivejše na šum v primerjavi z nizkofrekvenčnimi. V tretjo skupino pa spadajo ultra-visokofrekvenčne (Ultra-High Frequency) značke z oddajno frekvenco med 300 MHz in 3 GHz [6]. Razširjen primer uporabe RFID značk so sodobnejše smučarske vozovnice in sledenje produktov v maloprodaji ter v proizvodnih procesih (Slika 2.2) [7].



Slika 2.2: RFID značka za označevanje na tovarniških linijah [8]

NFC (Near field communication) je tehnologija za izmenjavo podatkov na doseg do 4 cm. Zasnovana je na visokofrekvenčnih RFID značkah, a se razlikuje po tem, da je lahko NFC naprava tako čitalec kot tudi značka. Ta posebnost omogoča komunikacijo vsak z vsakim (angl. peer-to-peer). Običajno komunikacija poteka med pametno napravo (mobilni telefon, POS terminal...) ter značko. Mobilna naprava, opremljena z NFC čipom, s pomočjo elektromagnetne indukcije prebere informacijo, ki je zapisana v znački. V večini primerov je vključena internetna povezava, saj je v nasprotnem primeru uporaba precej omejena. Slika 2.3 prikazuje primer NFC tehnologije je brezstično plačevanje s kreditnimi karticami [9].



Slika 2.3: NFC kot komunikacijski protokol za brezstično plačevanje [10]

### 2.2.2 Bluetooth

Bluetooth je tudi na seznamu IoT tehnologij. Leta 1994 ga je razvilo podjetje Ericsson kot alternativo RS-232 podatkovnim vodilom. Za razliko od RFID in NFC, se Bluetooth lahko uporablja za prenos večjih količin podatkov. Komunikacija poteka s pomočjo UHF radijskih valov v frekvenčnem spektru med 2402 MHz in 2480 MHz v pasovih širokih 1 MHz. Bluetooth je prisoten v praktično vseh mobilnih telefonih, prenosnih računalnikih, pogosto tudi v avtomobilih [11].

## 2.3 Računalniške tehnologije v zdravstvu

Tudi v zdravstvu in farmaciji se uporabljajo kompleksni računalniški sistemi. Za upravljanje procesov skrbijo informacijski sistemi, saj praktično ne obstajajo več zdravstveni zavodi, ki svojih procesov ne bi vodili s pomočjo ERP (Enterprise Resource Planning) in CMS (Content Management System) sistemov. Vse te tehnologije pa zadnja leta dopolnjuje računalništvo v oblaku (angl. Cloud computing), ki je procesiranje in hrambo podatkov preneslo iz klasičnih strežniških sob v obsežne in porazdeljene sisteme, ki se lahko nahajajo tudi na drugem koncu sveta [12].



Poleg tega se v zdravstvu uporabljajo napredni algoritmi za analizo podatkov, veje računalništva, kot so podatkovno rudarjenje (angl. Data mining), in simulacijski procesi, ki te podatke uporabljajo za izboljševanje obstoječih zdravstvenih postopkov ter odkrivanje novih. Še posebej je to razvidno v raziskavah na področju človeškega genoma in proteinskih analiz, ki so prinesle izjemen napredek pri zdravljenju rakavih obolenj ter nevrodegenerativnih bolezni [13].

Kljub prednostim in uporabnosti vseh teh tehnologij, pa se vedno bolj pojavlja potreba po večji varnosti. Izredno velik napredek je bil v zadnjih letih storjen na področju varovanja podatkov, pa vseeno imamo pogosto občutek, da vsa ta varnost ne dohiteva ostalih tehnologij. To je v zdravstvu še toliko bolj problematično, saj je zaradi omenjene varnosti zelo zahtevna implementacija novih sistemov. Ker gre tukaj za direkten vpliv na oskrbo bolnikov in njihovo okrevanje, je zakonodaja še toliko strožja [14].

## 2.4 Nega na domu

Eden izmed načinov zdravljenja je tudi oskrba bolnikov na domu. To so bolniki, ki sami težko poskrbijo zase, bolnišnična oskrba, pa jim ne bi prinesla konkretnih izboljšav njihovega fizičnega in psihičnega stanja. Običajno so to neozdravljive bolezni, pri katerih je naloga zdravstvenega osebja bolj olajšanje življenja bolnika kot pa samo zdravljenje.

Oblik nege na domu je več. Osnovno nego običajno izvajajo oskrbovalci in patronažno varstvo. Takšno varstvo predpiše zdravnik in je pogosto subvencionirano s strani občin v okviru programov domov za ostarele in centrov za socialno delo [15]. Pri bolnikih z neozdravljivimi boleznimi se običajno izvaja paliativna oskrba, katere namen je preprečevanje poslabšanja zdravstvenega stanja in izboljšanje kakovosti njihovega življenja. Takšna oskrba je namenjena tudi umirajočim bolnikom, ki želijo ostati v zadnjih trenutkih življenja doma.

Razlog za oskrbo obolelih na domu je žal tudi finančni. Veliko ceneje

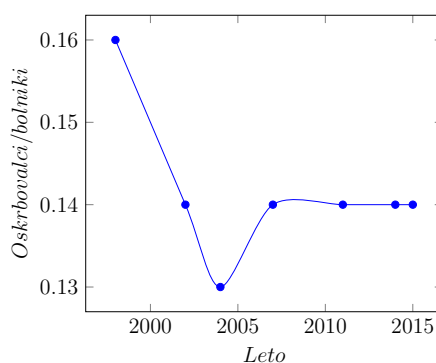
je nekajkrat dnevno obiskati bolnika na domu kot pa neprekinjena oskrba v bolnišnici. To je tudi problem, ki ga obravnava diplomska naloga. Ker so bolniki sami doma, je njihov nadzor zelo težaven. Oskrbovalci se z njimi srečajo enkrat do nekajkrat na dan, lahko tudi redkeje, saj je zaradi finančnih težav zdravstvenega proračuna v državi takšno osebje maloštevilčno. V primeru bolnikov, ki zase ne morejo poskrbeti, jih je občutno premalo. Kot primer vzemimo osebo z demenco. To je degenerativna bolezen možganskih celic, ki povzroča njihovo nenormalno delovanje. Oseba izgublja spomin, je zmedena, izgublja stik z realnim svetom in ni sposobna poskrbeti sama zase, zato potrebuje stalno oskrbo. Takšne bolnike pogosto namestijo v dom za ostarele, a žal iz finančnih razlogov to ni vedno mogoče.

Kratek pregled statističnih podatkov nam hitro prikaže problematiko oskrbe na domu. Čeprav skozi leta število oskrbovalcev narašča, pa s približno enako hitrostjo narašča tudi število bolnikov. Tako imamo v Sloveniji enega oskrbovalca na sedem bolnikov, kar je občutno premalo, če bi želeli tem ljudem zagotoviti ustrezno oskrbo, ki jo potrebujejo [15].

Leto zajema	Št. bolnikov	Št. oskrbovalcev
Konec leta 1998	3.909	612
V prvi polvici leta 2002	4.590	660
Konec leta 2004	4.732	590 (ocena)
V prvi polovici leta 2007	5.595	780
Konec leta 2011	6.624	910
Konec leta 2014	6.888	938
Konec leta 2015	7.100	1024

Tabela 2.1: Število oskrbovalcev in bolnikov v različnih časovnih obdobjih (1998-2015)[15]

Tabela 2.1 kaže, da se v zadnjih dvajsetih letih ni bistveno spremenil količnik med številom oskrbovalcev in številom bolnikov, ki variira med 0.13 in 0.16 in se je v zadnjih nekaj letih ustalil na 0.14 (Slika 2.4). Za večino bolnikov je to sicer v redu, saj ne potrebujejo konstantne oskrbe, za tiste, ki



Slika 2.4: Število oskrbovalcev v primerjavi s številom bolnikov (1998-2015) [15]

so veliko bolj odvisni od oskrbovalcev, pa ta podatek kaže, da nepretrgana oskrba s strani državnih zavodov ni mogoča. Po podatkih Inštituta za socialno varstvo je bila povprečna cena oskrbe na domu na državni ravni leta 2015 preračunana na 5,04 evra na uro, povprečni strošek pa 16,78 evra. V povprečju je na nacionalni ravni en oskrbovalec obiskal posameznega bolnika 18,5-krat na mesec, povprečni čas oskrbe pa je znašal 46,7 minute. Statistika tudi kaže, da je skoraj 90 odstotkov bolnikov, ki prejema oskrbo na domu, starih 65 let ali več (Slika 2.5) [15].

Leto	Število Vseh Uporabnikov	Uporabniki glede na starost					
		0-64 let		65 + let		80 + let	
		N	%	N	%	N	%
<b>2006 (celo leto)*</b>	5.328,1	714	13,4	4.612,9	86,6	2.624,1	49,2
<b>2007 (januar-junij)*</b>	5.595,2	714,9	12,8	4.880,3	87,2	2.723,7	0,7
<b>2008 (januar-junij)*</b>	5.780	682,4	11,8	5.096,8	88,2	3.085,6	53,4
<b>2009 (1. 12.)**</b>	6.502	826	12,7	5.676	87,3	3.470	53,4
<b>2010 (1. 12.)**</b>	6.575	811	12,3	5.764	87,7	3.674	55,9
<b>2011 (31. 12.)***</b>	6.624	790	11,9	5.834	88,1	3.814	57,6
<b>2012 (31. 12.)***</b>	6.583	782	11,9	5.801	88,1	4.102	62,3
<b>2013 (31. 12.)***</b>	6.540	754	11,5	5.786	88,5	3.971	60,7
<b>2014 (31. 12.)***</b>	6.888	780	11,3	6.108	88,7	4.219	61,3
<b>2015 (31. 12.)***</b>	<b>7.100</b>	<b>735</b>	<b>10,4</b>	<b>6.365</b>	<b>89,6</b>	<b>4.440</b>	<b>62,5</b>

\* Povprečno število uporabnikov na mesec; \*\* število uporabnikov na dan 1. 12.; \*\*\* število uporabnikov na dan 31. 12.

Slika 2.5: Starostna porazdelitev oskrbovancev med leti 1998 in 2015 [15]



## Poglavje 3

# Bluetooth Low Energy

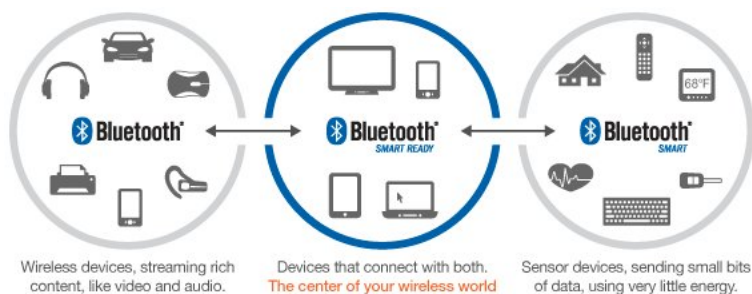
### 3.1 Bluetooth standard

Razvoj standarda Bluetooth sega v leto 1989, ko je takratni direktor podjetja Ericson Mobile, dr. Nils Rydbeck na podlagi izumov Johana Ullmana želel izdelati brezžične slušalke [16]. S standardom upravlja podjetje Bluetooth Special Interest Group (SIG). Standard temelji na tehnologiji imenovani Frequency hopping spread spectrum (FHSS), pri kateri za pošiljanje radijskih signalov uporabljamo hitro, psevdonaključno izmenjevanje med kanali. Prednost takšnega pošiljanja je predvsem majhna prisotnost motenj v signalu zaradi drugih naprav ter precej težko prestrezanje signala. Prenos poteka v obliki paketov po principu gospodar (angl. master) suženj (angl. slave). Vsak gospodar lahko komunicira z največ sedemimi sužnji istočasno.

### 3.2 Bluetooth 4.0

Leta 2010 je SIG predstavil standard Bluetooth 4.0 (imenovan tudi Bluetooth Smart), ki za IoT tehnologije označuje veliko prelomnico. Klasičnemu bluetoothu je bil dodan tako imenovani Bluetooth Low Energy (BLE), katerega glavni cilj je nizka poraba energije in zmanjšanje cene. BLE je implementiran kot povsem nov standard, zaradi česar ni podpore z napravami,

ki uporabljajo starejšo različico Bluetooth protokola. Protokol je zasnovan tako, da lahko proizvajalci implementirajo samo nizko energijski bluetooth (Bluetooth Smart), samo klasičnega (Bluetooth) ali oba skupaj (Bluetooth Smart Ready) (Slika 3.1) [17]. Za razliko od klasičnega Bluetooth protokola, ki uporablja pretočne kanale široke 1 MHz, BLE frekvenčni spekter deli na 2 MHz kanale.



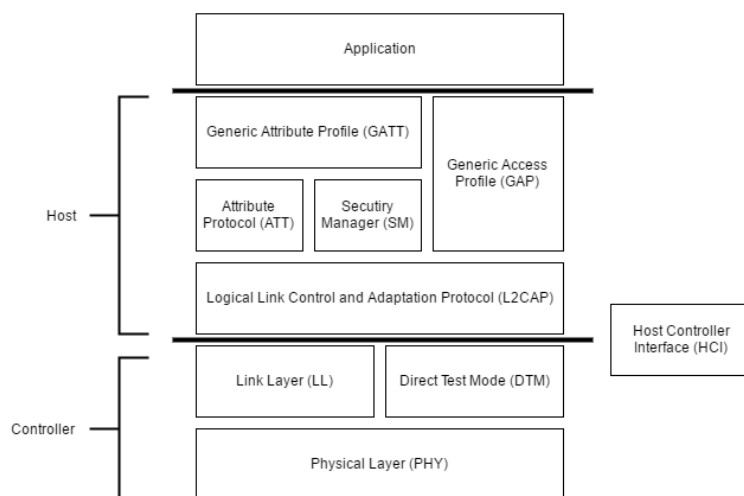
Slika 3.1: Družina Bluetooth 4.0 [18]

Protokol je sestavljen iz treh osnovnih nivojev. Zgornji, aplikacijski nivo, ki skrbi za komunikacijo med uporabniškim vmesnikom in spodnjimi nivoji, srednji, gostitelj (host), ter spodnji, ki igra vlogo krmilnika in upravlja tudi z radijskim oddajnikom (Slika 3.2).

Krmilnik se deli na tri ločene dele:

1. Fizična plast (angl. Physical Layer) skrbi za pošiljanje in sprejemanje paketov.
2. Povezovalna plast (angl. Link Layer) omogoča dostop do medija, vzpostavitev povezave, preverjanje napak in upravljanje s pretokom.
3. Testni način (angl. Direct Test Mode) se uporablja samo za testne namene.

Med gostiteljem in krmilnikom leži nivo HCI (angl. Host Controller Interface). V nekaterih napravah je implementiran v spodnjem krmilnem nivoju, v nekaterih pa v gostiteljskem, zato ga običajno pri shemah BLE sklada označimo pri strani.



Slika 3.2: BLE sklad [19]

Host je sestavljen iz petih delov:

1. Logical Link Control and Adaptation protocol (L2CAP) skrbi za multipleksiranje podatkovnih kanalov iz zgornjih nivojev. Poleg tega pa skrbi tudi za fragmentacijo ter ponovno sestavljanje velikih podatkovnih paketov in sporočanje Quality of service (QoS) informacije višjim nivojem.
2. Attribute protocol (ATT) definira protokol za izmenjavo podatkov med odjemalcem in strežnikom, ko je povezava vzpostavljena. Atributi so grupirani skupaj v pomensko logične enote s pomočjo GATT profilov.
3. Security Manager (SM) definira mehanizme za parjenje naprav in za razpošiljanje ključev, enkripcijo povezave ter vsebuje paleto dodatnih funkcij, ki so na voljo ostalim komponentam za razne varnostne mehanizme.
4. Generic Attribute profile (GATT) z uporabo ATT protokola grupira storitve na napravi v smiselne enote, opisuje njihove vloge in splošno obnašanje. Definira sestavo storitev ter njihovih karakteristik.
5. Generic Access Profile (GAP) deluje skupaj z GATT in definira po-

stopke in vloge pri odkrivanju in povezovanju naprav.

### 3.3 Podpora za BLE protokol

Čeprav je SIG predstavil BLE že leta 2010, je bilo potrebno še kar nekaj časa čakati na podporo s strani drugih proizvajalcev (Tabela 3.1). Kot prvo, mora naprava vsebovati Bluetooth čip, ki podpira tudi LE povezave. Nato pa je potrebna tudi podpora s strani operacijskega sistema. Danes vsi večji proizvajalci mobilnih naprav ter programske opreme že podpirajo BLE.

Operacijski sistem	Verzija	Datum predstavitve
Android	4.3 <sup>1</sup>	9. julij 2012
iOS	iOS 5 <sup>2</sup>	6. junij 2011
Windows phone	8.1 <sup>3</sup>	2. april 2014
Windows	8 <sup>4</sup>	26. oktober 2012
Blackberry	10 <sup>5</sup>	22. julij 2013
Linux	3.4 z BlueZ <sup>6</sup>	20. maj 2012

Tabela 3.1: Podpora BLE večjih proizvajalcev operacijskih sistemov

## 3.4 BLE beacons

### 3.4.1 Definicija

Izraz *beacon* (slov. svetilnik/oddajnik) predstavlja družino BLE naprav, katerih glavna naloga je oddajanje svojega položaja. Ker je BLE zasnovan

<sup>1</sup><https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le.html>

<sup>2</sup><https://developer.apple.com/reference/corebluetooth>

<sup>3</sup><https://blogs.msdn.microsoft.com/thunbrynt/2014/05/04/windows-phone-8-1-for-developersintroducing-bluetooth-le/>

<sup>4</sup>[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/jj159880\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/jj159880(v=vs.85).aspx)

<sup>5</sup><http://global.blackberry.com/en/company/newsroom/press.html?id=1742430>

<sup>6</sup><http://padovan.org/blog/2013/02/the-big-changes-of-blueZ-5/>



za pošiljanje zelo majhnih količin podatkov in minimalno porabo energije, običajno sporoča le nekaj vrednosti, s pomočjo katerih mora sprejemnik na podlagi že znanih podatkov določiti, kje se v resnici nahaja. Kot primer lahko vzamemo trgovino z obutvijo. Pri vsaki polici postavimo en *beacon* oddajnik, ter mu zapišemo unikatno id številko, ki jo ta oddaja. Ko se približamo, telefon prebere signal in s pomočjo id številke določi, kje se nahajamo v trgovini. Nato je pa naloga aplikacije na mobilni napravi, da ustrezno uporabi te podatke. Na primer izpiše cene, znižanja ipd.

Ker je eden glavnih ciljev minimizacija porabe energije, takšne oddajnike običajno napajamo z gumbnimi, AA ali AAA baterijami in je njihova življenjska doba tudi do dveh let. Na življenjsko dobo občutno vplivata interval oddajanja ter moč oddajnika. BLE protokoli običajno omogočajo nastavljanje obeh vrednosti, zato so lahko pričakovane življenjske dobe baterij tudi daljše, odvisno od potreb implementacije. Poleg baterijskega napajanja naprave podpirajo tudi napajanje preko USB vodila ter iz klasičnega električnega omrežja z uporabo usmernika.

### 3.4.2 Proizvajalci - razlike med moduli

Zaradi vsesplošnega porasta mobilnih naprav ter njihovega medsebojnega povezovanja imamo pri izbiri *beacon* oddajnika potrošniki na voljo veliko različnih proizvajalcev. Ti se razlikujejo predvsem po tipu mikroprocesorja, tipu napajanja, programski opremljenosti v napravi (angl. firmware), podpori storitev v oblaku ter v SDK-jih.

Glavni predstavniki mikroprocesorjev, ki se uporabljajo v BLE *beacon*-ih, so Texas Instruments, Nordic Semiconductors, Bluegiga ter Gimbal. Ti pokrivajo skoraj vse *beacon* proizvode, čeprav obstaja še nekaj drugih.

Firmware omogoča med drugim določevanje moči oddajnika ter interval pošiljanja signala. Moč oddajanja (angl. TX power) se meri v dBmW in direktno vpliva na oddaljenost, pri kateri lahko signal še zaznamo. Interval pošiljanja pa je določen v milisekundah in določa, kako pogosto naprava oddaja svoj signal. To je bil tudi eden glavnih ciljev pri razvoju BLE pro-

tokola, saj so večino časa naprave v načinu spanja in samo nekajkrat na sekundo oddajo signal. V tabeli 3.2 so predstavljeni dometi pri različnih močeh oddajanja signala.<sup>7</sup>

TX power (dBmW)	Pričakovan doomet (m)
-30	2
-20	4
-12	20
-4	40
-0	60
+4	70

Tabela 3.2: Približen pričakovan doomet v odvisnosti od moči oddajanja signala [20]

### 3.4.3 iBeacon protokol

Leta 2013 je podjetje Apple na Apple Worldwide Developer Conference predstavilo svojo verzijo BLE protokola imenovano iBeacon, s katero so želeli uporabnikom in razvijalcem poenostaviti uporabo in razvoj aplikacij za svoje naprave [21]. Vsaka iBeacon naprava oddaja štiri tipe informacij:

1. UUID (Universally unique identifier): unikatna identifikacijska koda, ki običajno določa podjetje, ni pa nujno.
2. Major: prva izmed dveh števil, s katero enolično določimo vsakega od oddajnikov.
3. Minor: druga številka za enolično določanje oddajnika.
4. TX Power: uporablja se za določanje oddaljenosti, na kateri lahko *beacon* oddaja signal.

---

<sup>7</sup>Predvideva se, da med oddajnikom in sprejemnikom ni ovir.

Te informacije pa še niso dovolj. Na mobilni napravi mora teči aplikacija, ki jih prebere in na podlagi že znanih informacij (npr. seznam znanih *beacon*-ov) uporabniku ponudi storitev. Najpogosteje je ta v obliki določanja lokacije znotraj zaprtih prostorov (kjer klasične navigacijske tehnologije odpovejo) ali v obliki potisnih sporočil (angl. push notification). Za razliko od GPS signala, ki je javen in vsem prosto dostopen, pa mora aplikacija v primeru iBeacon signala poznati identifikacijsko številko, drugače sploh ne ve, da se v bližini nahaja oddajnik. Pri določanju lokacije pa je v primerjavi z GPS tehnologijo še ena velika razlika. GPS lokacija je nespremenljiva in v vsakem trenutku enaka za isto lokacijo. Pri iBeacon omrežjih pa to ni nujno. Lastnik oddajnika lahko po želji spremeni njegovo lokacijo in s tem vpliva na topologijo omrežja.

#### 3.4.4 BLE senzorski moduli

Poleg določanja oddaljenosti lahko uporabimo BLE tehnologijo za veliko več. Primer take uporabe so senzorski moduli. Z njimi lahko poleg identifikacijskih številc prejemo tudi odčitke senzorjev, priključenih na napravo, te pa lahko na enak način kot ostale vrednosti beremo z mobilno napravo. Uporabljeni so lahko enostavni temperaturni senzorji, čitalniki srčnega utripa in drugi. Zaradi tega smo bili v zadnjih letih priča pravi poplavi naprav za nadziranje delovanja telesa, predvsem v domeni fitness opreme za športnike. Primer takšnega senzorskega modula je Bluno Nano proizvajalca DFRobot [22]. To je majhno integrirano vezje, ki temelji na Arduino arhitekturi. Na ploščico lahko priklopimo celo paleto senzorjev, meritve teh pa preko BLE protokola pošljemo na mobilno napravo. Ker so takšne naprave precej majhne, jih lahko vgradimo celo v tkanine.

#### 3.4.5 Obstoječe rešitve na področju BLE tehnologij

Najpogostejše impleментacije *beacon* omrežij so trenutno namenjene predvsem potrošnikom. V ZDA vsi večji trgovski giganti aktivno razvijajo svoje

sisteme na osnovi BLE tehnologije za potisna sporočila, na primer Tesco, McDonald's, Best Buy, Walmart idr. McDonald's je na primer v svojih prehrambenih verigah v Istanbulu v Turčiji promoviral nov okus kave [23]. S pomočjo popularne aplikacije Shopping Genie in svojega BLE omrežja je uspel uporabnikom preko potisnih sporočil predstaviti nov produkt. Približno 20 odstotkov vseh prejemnikov sporočila je vstopilo v restavracijo in kupilo kavo, kar je znašalo 30 odstotkov vseh kupcev tega novega produkta.

## Poglavje 4

# Oddaljen nadzor bolnikov na domu

### 4.1 Opis problema

Na podlagi opisanih problemov nege na domu in statističnih podatkov lahko začutimo, da so pri oskrbi takšnih bolnikov občutne težave pri nadzoru oskrbovancev in hitrem ukrepanju v primeru težav. V Sloveniji imamo premajhno število oskrbovalcev glede na število bolnikov, ki so deležni nege na domu. Zaradi tega je praktično nemogoče zagotoviti učinkovito in predvsem hitro ukrepanje v primeru zdravstvenih težav. Kratki dnevni obiski, ki se trenutno izvajajo, niso dovolj. Če upoštevamo tudi dejstvo, da 84,1 % oskrbovancev prejema obiske samo v dopoldanskem času in da ti v povprečju trajajo samo 46,7 minut, lahko z zagotovostjo trdimo, da je trenuten nadzor nad stanjem bolnika neustrezen [15]. Ti bolniki so v večini primerov doma brez nadzora in morajo v primeru zdravstvenih težav sami ukrepati. Žal to ni vedo mogoče, saj pri nekaterih boleznih bolniki niso sposobni sami poiskati pomoči. Poleg tega pa lahko pride tudi do hujših nesreč pri vsakodnevnih opravilih, pri katerih lahko ostanejo tudi nezavestni. Oskrbovalci v času njihove odsotnosti nimajo nikakršnega pregleda nad stanjem bolnika. Tako ne morejo vedeti, če je bolnik z demenco nevede zataval iz svojega stanovanja, ali če se mu je

pripetila nesreča v kopalnici. V takšnih primerih je lahko obisk oskrbovalca naslednjega dne že prepozen.

Te problematike pa ne občutijo samo bolniki ampak tudi oskrbovalci. Ti se zaradi velikega števila obiskov, ki jih morajo opraviti, ne morejo v celoti posvetiti bolniku, poleg tega pa se o trenutnem stanju bolnika informirajo komaj ob samem obisku, kar ni najbolje, saj ne morejo predvideti vseh trenutnih potreb.

## 4.2 Opis rešitve

Da bi lahko zagotovili konstanten in učinkovit nadzor nad bolniki, je potrebno stanje bolnika beležiti ves čas, predvsem pa je potrebno imeti delujoč sistem, ki samodejno reagira v primeru težav. V diplomski nalogi predlagamo avtomatizirano senzorsko omrežje na domu, ki bi vse potrebne podatke o bolniku za učinkovit nadzor zajemalo in posredovalo v centralni nadzorni strežnik. Do njega bi imeli dostop vsi zdravstveni uslužbenci, ki pri negi sodelujejo. Najpomembnejši razlogi za izbiro Bluetooth Low Energy protokola so:

1. Nizka poraba energije: da bi bili prejeti podatki o bolniku še relevantni za dano situacijo, ne potrebujemo pogostega osveževanja. Dovolj je, da se senzorski odčitki beležijo enkrat na sekundo ali celo redkeje v primeru lokalnega pozicioniranja, saj se oseba ne giblje dovolj hitro med prostori, da bi prihajalo do napak pri lociranju. Pri beleženju srčnega utripa lahko interval osveževanja skrajšamo, saj potrebujemo za učinkovito zaznavanje anomalij pri bitju srca gostejše odčitke tipa. Ker je BLE protokol zasnovan tako, da v času, ko signala ne oddaja, preklopi sistem v spanje, tako porabi izredno malo energije. S klasičnimi baterijami tipa AA ali drugimi gumbnimi tipi lahko senzor s takšnim delovanjem napajamo tudi do dve leti.
2. Majhen pretok podatkov: V primeru senzorskih odčitkov govorimo o zelo majhni količini posredovanih podatkov v velikosti nekaj bajtov na

prenos. Energetska varčnost BLE protokola je deloma zagotovljena z majhno količino prenosa.

3. Relativno enostavna implementacija: BLE se je v zadnjih letih z razcvetom IoT tehnologij tako razširil, da ga večina proizvajalcev mobilnih naprav dobro podpira. Nekateri so celo razvili svojo, še enostavnejšo različico, kot na primer iBeacon podjetja Apple, ki razvijalcem še toliko bolj olajša razvoj aplikacij.
4. Cena: Bluetooth moduli so izjemno razširjeni na tržišču, saj jih danes vgrajujejo v praktično vse mobilne naprave, novejši avtomobile, pametne televizije idr. Cena takšnega modula s pripadajočim senzorjem in ob upoštevanju količinske nabave ne bi presegala 10 EUR.<sup>1</sup>

Vsa komunikacija bi se dopolnjevala z mobilno ali stacionarno napravo, ki bi senzorske odčitke zbiral, jih grupirala v posamezne sklope in zapisovala preko internetnega ali mobilnega omrežja na strežnik. Na drugi strani bi bila aplikacija namenjena uslužbencem zdravstvene nege, ki bi lahko v vsakem trenutku spremljali stanje bolnika. Da bi bilo takšno sledenje smiselno, je potrebno uvesti dežurno službo, saj ima trenutno večina zavodov dežurstvo samo po dogovoru. Če dežurna služba ni mogoča, lahko dostop do podatkov nudimo tudi svojcem bolnika, ki lahko v primeru težav ukrepajo. Strežnik bi skrbel tudi za obveščanje ob anomalijah, kot na primer izguba signala, če bolnik odtava iz stanovanja.

### 4.3 Topologija Beacon in senzorska omrežja

Ko govorimo o senzorjih, v tem primeru mislimo predvsem na zaznavanje zdravstvenega stanja bolnika. Primeri takšnih naprav so senzorji za pulz, krvni tlak, raven glukoze v krvi in podobni. V takšen sistem bi bilo mogoče vključiti tudi drugačno senzoriko, kot na primer zaznavanje ravni ogljikovega monoksida v zraku, vlažnost in temperaturo v prostoru ter druge senzorje za

---

<sup>1</sup>V primeru kompleksnejših senzorjev je lahko ta cena višja.

detekcijo plinov. Sestava senzorskega omrežja bi bila odvisna predvsem od tipa bolnika in njegovega obolenja. Nujen dodatek bi bil tudi SOS tipka, kot jo lahko vidimo pri nekaterih mobilnih telefonih, s katero bi lahko bolnik v slučaju poslabšanja zdravstvenega stanja poklical pomoč.

Poleg senzorskih odčitkov mora takšno avtomatizirano stanovanje obvezno vključevati lokalno pozicioniranje. V vsakem trenutku je potrebno vedeti, kje se bolnik nahaja. Ker znotraj prostorov klasične tehnologije za lociranje, kot je GPS, odpovedo, je za to rešitev primerna BLE tehnologija. Z uporabo t. i. *beacon* naprav smo zasnovali mobilno aplikacijo, ki s pomočjo omenjenih oddajnikov beleži lokacijo bolnika. Da je takšna aplikacija ustrezna, se mora v vsakem prostoru nahajati en *beacon* modul<sup>2</sup>. Če imamo opravka z bolniki, ki imajo težave z zaznavanjem okolice in orientacijo, je smiselno tudi, da se takšen *beacon* nahaja zunaj pred vhodom v stanovanje, da se lahko sproži alarm v primeru, da bolnik nehote odtava iz stanovanja. Ker vsak *beacon* oddaja signal s svojo identifikacijsko številko, lahko aplikacija ves čas ve, kje se oseba nahaja.

## 4.4 Aplikacija

Za praktičen prikaz delovanja predlagane rešitve smo izdelali aplikacijo, ki na enostaven način demonstrira lokalno pozicioniranje znotraj prostorov z uporabo t. i. BLE *beaconov*. Aplikacija je napisana za mobilne telefone podjetja Apple, ki tečejo na operacijskem sistemu iOS. Testirana je bila na modelu telefona iPhone 4S, za katerega smo se odločili predvsem zato, ker je prvi Appl-ov model, ki vsebuje Bluetooth 4.0 vmesnik in s tem tudi uradno podpira iBeacon protokol. Telefon je bil na tržišče lansiran v oktobru 2011, od takrat dalje pa vse mobilne naprave tega proizvajalca, ki imajo različico iOS 5 ali novejšo, podpirajo iBeacon protokol, vključno s tabličnimi napravami ter pametnimi urami. Aplikacija je napisana v programskem jeziku Swift. Ta je postal razvijalcem dostopen komaj pred dobrima dvema letoma. Pred tem

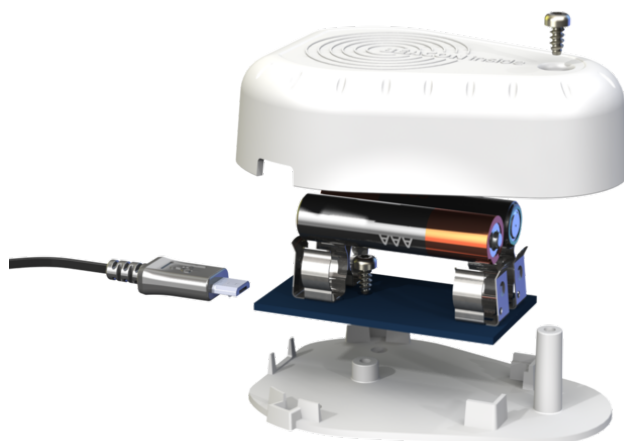
---

<sup>2</sup>V primeru večjih prostorov lahko tudi več



se je za razvoj iOS aplikacij uporabljal Objective-C, v katerem je napisana večina aplikacij za iOS.<sup>3</sup> Za Swift smo se odločili zato, ker je v primerjavi z Objective-C precej bolj berljiv ter hitrejši v izvajanju.

Za vzpostavitev *beacon* omrežja smo uporabili naprave proizvajalca BeaconInside, model B0001-A (Slika 4.1).



Slika 4.1: BeaconInside 1stGen B0001-A [24]

Naprava je velika 5,80 cm x 7,96 cm x 2,25 cm, zato je enostavna za montažo v prostor. Priporočljivo je, da ni postavljena za kakšnimi drugimi objekti, saj to poslabša signal, posledično pa aplikacija narobe izračuna razdaljo. Ta v večini primerov sicer ni ključnega pomena, saj je dovolj da, signal zaznamo. Problem bi nastal v primeru večjega števila *beacon* oddajnikov v istem prostoru, saj bi potem lahko narobe zaznali, kateremu smo bližje. Zaradi tega je priporočljiva montaža na strop. Napravo lahko napajamo z dvema AAA baterijama ali preko mikro USB vmesnika. Če je priklop na mikro USB le mogoč, je priporočljivejši, saj nam potem ni potrebno skrbeti za energetske porabe. Brez skrbi lahko tudi povečamo frekvenco osveževanja. Maksimalen doomet signala je 40 m, a v praksi ga je zaradi različnih dejavnikov zelo težko doseči. Na doomet direktno vplivata nastavljena moč oddajnika ter interval

<sup>3</sup><https://developer.apple.com/swift/>

osveževanja. Poleg tega se domet občutno zmanjša, če so med oddajnikom in sprejemnikom fizične ovire (npr. zid), zato je težko napovedati predviden domet. Interval osveževanja je lahko med 100 ms in 10 s.

S pomočjo programov za reprogramiranje BLE naprav, kot je na primer LightBlue, lahko vsakemu *beacon*-u posebej nastavimo UUID, major, minor, frekvenco osveževanja ter TX power vrednosti. UUID naključno vrednost lahko v terminalu operacijskega sistema macOS generiramo enostavno z ukazom "uuidgen"<sup>4</sup>. Zaradi ogromnega števila kombinacij skoraj ni mogoče, da bi se naša UUID mešala s kakšno drugo aplikacijo, ki uporablja enak sistem identifikacije<sup>5</sup>.

#### 4.4.1 Glavno okno za zajemanje BLE signala

Glavno okno (v iOS operacijskem sistemu imenovano ViewController) in hkrati vstopno okno po zagonu aplikacije daje uporabniku osnovne informacije za namen pozicioniranja. Te vrednosti za končnega uporabnika niso bistvene, so pa nujne za delovanje aplikacije (Slika 4.2).

Tu se izpiše, ali je kakšen *beacon* v dosegu ter, če je, katere so vrednosti, ki jih od njega sprejemamo. Izpišejo se UUID identifikacija, major ter minor vrednosti, s katerimi lahko enolično določimo signal, katerega *beacona* smo ulovili, ocena razdalje, ki jo predpisuje Apple v protokolu iBeacon<sup>6</sup>, ter približna razdalja v metrih, izračunana na podlagi prebrane vrednosti TX power<sup>7</sup>.

Ker poznamo svojo UUID identifikacijo, se pri sprejemu omejimo samo nanjo, hkrati pa major in minor vrednosti v klicu funkcije ne navedemo, saj tako omogočimo večjo fleksibilnost sistema. Te vrednosti preberemo iz podatkovne baze, zaradi česar lahko po želji v sistem dodajamo nove naprave.

---

<sup>4</sup>V Windows okolju je ukaz enak, le da moramo imeti nameščen tudi Windows SDK.

<sup>5</sup>UUID, definiran v RFC 4122, je 128-bitno število, kar statistično gledano zagotavlja skoraj nemogoče podvajanje.

<sup>6</sup>Vrednosti so lahko: immediate, near, far ter unknown.

<sup>7</sup>Če vidna razdalja med *beacon*-om in mobilno napravo ni čista, lahko ta vrednost precej odstopa od realne.

Slika 4.2: Najbližji zaznani *beacon*

Za določanje parametrov razvojno okolje predpisuje strukturo regija (angl. region), ki hrani vse potrebne identifikacijske podatke. Ta je del Core Location ogrodja (angl. framework), ki povezuje strojno in programsko opremo namenjeno lociranju naprav.

```

super.viewDidLoad()
    initializeLabels()
    region = CLBeaconRegion(proximityUUID: UUID!,
                           identifier: "si.markofornazaric.Beacon")
    self.locationManage.delegate = self
    //zahteva za uporabo BLE
    self.locationManage.requestAlwaysAuthorization()
    self.locationManage.startMonitoringForRegion(region)

```

Aplikacija implementira niz funkcij za odziv na dogodke (angl. delegate). Ko med “poslušanjem” signala zazna *beacon* s pravo identifikacijo, ga doda na seznam in izračuna razdaljo do njega. Seznam med izvajanjem ves čas

razvršča glede na razdaljo in prikaže najbližjega.

```
for b in beacons {  
    if b.accuracy < nearest?.accuracy {  
        nearest = b  
    }  
}  
return nearest!
```

#### 4.4.2 Okno za beleženje znanih beacon naprav

Okno je razdeljeno na dva dela. Prvi del omogoča prenos seznama znanih naprav iz podatkovne baze, ki leži na strežniku proizvajalca BeaconInside (slika 4.3). Uporabnika vpraša za uporabniško ime in geslo. Pri pravilnem vnosu se vse potrebne informacije prenesejo na mobilno napravo in se nanjo shranijo v trajen pomnilnik s pomočjo Core Data okvirja. Smiselno je, da se dostop dovoli samo oskrbovalcem, zato je potrebna prijava.

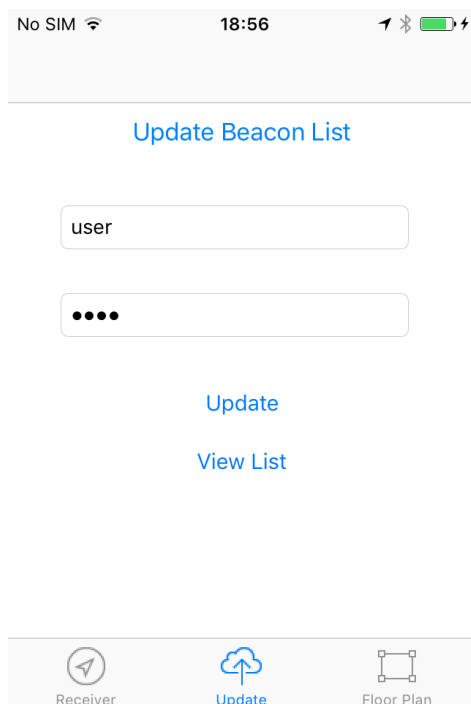
Za namen te naloge se uporabniško ime in geslo preverjata lokalno, v pravem sistemu bi se avtentikacija preverjala preko centralnega strežnika.

Seznam naših *beacon* naprav se iz podatkovne baze prenaša v JSON obliki, saj jo API, s pomočjo katerega teče komunikacija, dobro podpira. Za prenos JSON datoteke uporabljamo HTTP Get metodo, za prijavo v API sistem pa HTTP Post. Za HTTP komunikacijo smo uporabili knjižnico Alamofire [25]. Zaradi varnosti pred CSRF napadi (Cross-Site Request Forgery) je potrebno v glavo HTTP zahteve vstaviti še CSRF žeton<sup>8</sup>:

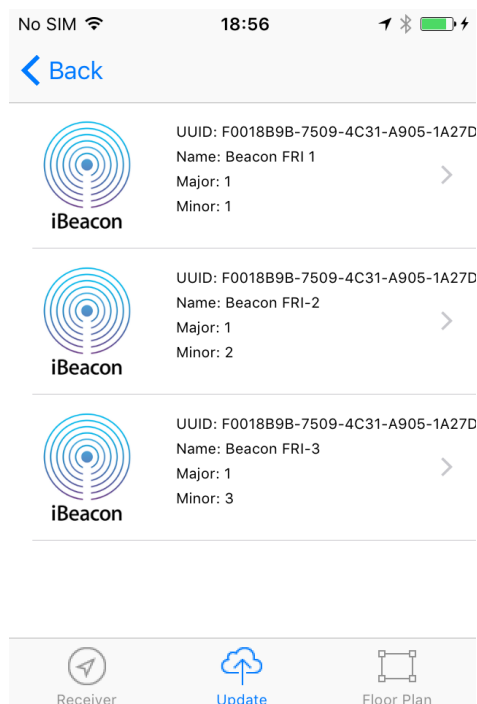
```
request.setValue(self.sessionToken ,  
                forHTTPHeaderField: "X-Csrf-Token")
```

Drugi del okna za beleženje naprav pa prikazuje seznam, ki smo ga s pomočjo prvega dela prenesli. Poleg osnovnih identifikacijskih podatkov se tukaj prikažejo še podatki o GPS koordinatah ter poštni naslov, na katerem

<sup>8</sup>Pri CSRF napadu, napadalec prisili končnega uporabnika, ki je prijavljen v storitev, da izvede neželene akcije v spletni aplikaciji.



Slika 4.3: Prijavno okno



Slika 4.4: Seznam dodanih naprav

se naprava nahaja in njeno ime. Te podatke vnesemo, ko gradimo seznam na spletni strani proizvajalca.

#### 4.4.3 Okno z grafičnim prikazom tlorisa stanovanja

V tem oknu se uporabniku prikaže tloris stanovanja bolnika (slika 4.5). Uporabniku se z rdečo barvo obarva prostor, v katerem se bolnik nahaja. V primeru, da noben *beacon* ni zaznan, ostane tloris neobarvan. Pri dejanski implementaciji sistema bi bil lahko to razlog za obvestilo oskrbovalcem, da je nekaj narobe. Ker so podatki o razdalji med mobilno napravo in *beacon* oddajnikom velikokrat netočni, se lahko zgodi, da izgubimo signal tudi, če prostora nismo zapustili. Zaradi tega opozorila ne smemo sprožiti alarma, ampak moramo počakati in preveriti, ali gre samo za kratkotrajno izgubo signala. Uporabnik lahko tloris poljubno skalira in premika po zaslonu, saj postane ta hitro nepregleden, če je stanovanje veliko.



Slika 4.5: Tloris z označeno trenutno lokacijo

## 4.5 Zajem podatkov

Senzorsko omrežje delimo na dva sklopa. Prvi zajema tiste elemente, ki so vezani direktno na bolnika, in vključuje *beacon* naprave za lokalno pozicioniranje ter tipala, ki so nameščena na telesu. Drugi sklop pa vključuje tiste, ki so vezani na prostor sam in delujejo ne glede na to, kje se bolnik nahaja in kaj v danem trenutku dela. Primer takšnih so tipala za beleženje kvalitete zraka, temperature, tlaka idr. Prvi sklop mora zaradi mobilnosti bolnika podatke prenašati brezžično in, kot je v tej diplomski nalogi predlagano, s pomočjo BLE protokola. Drugi pa lahko uporablja tako brezžično kot ožičeno povezavo. Za kakšno povezavo se odločimo, je predvsem odvisno od tega, kako kompleksno je omrežje in od ostalih fizičnih preprek v prostoru. Praviloma so žične povezave stabilnejše, saj je prisotnost šuma pri prenosu manjša, vendar pa te zahtevajo večji poseg v prostor.

## 4.6 Zbiranje podatkov z mobilno aplikacijo

Senzorske odčitke bi beležili s pomočjo pametne ure ali kakšne druge diskretne mobilne naprave preko BLE protokola. Ura je idealnejša, saj se bolnik tako z njo ne obremenjuje, poleg tega pa je, za razliko od pametnega telefona, manjša verjetnost, da si jo sname in jo kje odloži. Možna bi bila tudi integracija sprejemne naprave v sama oblačila, a imamo tukaj spet problem v primeru, da si bolnik oblačilo sleče. Za napajanje ure bi lahko skrbel bolnik sam, v kolikor pa to ne bi bilo možno, bi za to poskrbeli oskrbovalci ob dnevnem obisku na domu. Mobilna naprava mora biti nameščena na bolniku, da lahko beležimo lokalno pozicioniranje in odčitke telesnega stanja bolnika, drugi odčitki, kot so temperatura, vlaga ipd., pa se lahko vežejo tudi na centralno enoto v stanovanju, saj tako nismo odvisni od vzdrževanja mobilne naprave.

## 4.7 Pošiljanje in obdelava podatkov

Po zajemu podatkov, mora aplikacija podatke smiselno grupirati, jim dodati časovno in identifikacijsko označbo in preko klasičnih komunikacijskih kanalov (WiFi ali mobilno omrežje) te poslati na centralni strežnik. Za prenos lahko uporabimo kar JSON obliko, saj omogoča dovolj veliko fleksibilnost za naše potrebe. Centralni strežnik bi omogočal beleženje in upravljanje s podatki vseh oskrbovancev. Do podatkov bi morali imeti dostop vsi uslužbenci v okviru nege na domu. Smiselno pa bi ga bilo omogočiti tudi osebnim zdravnikom in drugim zdravstvenim delavcem, ki so neposredno vpleteni v zdravljenje bolnika, sploh v primeru da ima ta nameščeno senzoriko za beleženje telesnih funkcij (npr. srčni utrip). Vidik, ki ga ne smemo spregledati, je tudi varovanje osebnih podatkov. Komunikacija med senzorji in mobilno napravo ni problematična, saj mora naprava, ki beleži podatke, poznati UUID vrednost, če hoče podatke prebrati, pri prenosu odčitkov na strežnik pa moramo poskrbeti, da je le-ta šifrirana.

## 4.8 Ukrepanje ob nastanku težav

Poleg dostopa do podatkov mora strežnik omogočati tudi avtomatiziran odziv na anomalije v senzorskih odčitkih. Nekaj primerov anomalij, pri katerih bi se moral sistem odzvati:

1. Zastoj ali aritmija srca: V kolikor bolnik nosi na sebi senzor za srčni utrip, mora strežnik pri nenormalnih odčitkih takoj obvestiti oskrbovalca, ki lahko potem pravočasno ukrepa.
2. Neobičajno vedenje bolnika: primer takšnega vedenja je lahko dolgotrajno zadrževanje v kopalnici. Če bi lokacijsko pozicioniranje zaznalo takšno vedenje, lahko strežnik odda opozorilo oskrbovalcem. Ti lahko preko telefona ali z obiskom preverijo, da se bolniku ni pripetila nezgoda.
3. V primeru bolnikov, ki potrebujejo povečan nadzor, lahko s pomočjo *beacon* naprav beležimo tudi, če ti nenadzorovano zapustijo območje doma. V takšnem primeru lahko aplikacija na pametni uri avtomatsko prižge GPS oddajnik, strežnik pa nato te lokacije posreduje oskrbovalcem, da lahko osebo najdejo.
4. Previsoka koncentracija škodljivih plinov: z uporabo senzorjev za merjenje kvalitete zraka lahko na primer prepoznamo uhajanje plinov v primeru plinskih gorilnikov ali prisotnost dima v stanovanju. Strežnik bi moral na takšne odčitke reagirati.

Sistem lahko razširimo še dodatno z obveščanjem bolnika samega, saj je v osnovi on prvi, ki lahko ukrepa v primeru težav. V opozorila lahko vključimo tudi dnevne ali sprotne obveznosti, kot so jemanje zdravil in druge aktivnosti, ki mu jih zdravnik predpiše.



# Poglavje 5

## Testiranje

### 5.1 Pregled

Da smo lahko preverili, kako bi se naša aplikacija obnesla v praksi, smo v stanovanju postavili testno omrežje v manjšem merilu, sestavljeno iz treh *beacon* naprav, ki ves čas oddajajo signal. Te so bile postavljene vsaka v svojem prostoru, pri čemer jih lahko ločimo na podlagi različnih major in minor vrednosti, ki jih sporočajo. Te attribute smo nastavili v skupni bazi, ki se nahaja na strežniku proizvajalca *beacon* naprav in katero lahko po želji prenesemo na napravo iz aplikacije. Čeprav bi v pravem sistemu ločili aplikacijo na dve ločeni enoti, eno namenjeno bolniku, drugo pa negovalcem, smo za namene testiranja vse funkcionalnosti združili v eno. Tako nam aplikacija iz ene naprave omogoča tako beleženje lokacije znotraj prostorov, kot tudi upravljanje z alarmi, ažuriranje seznama oddajnikov ter ogled trenutne lokacije na tlorisu. Eden ključnih atributov pri takšnem sistemu je interval oddajanja signala, saj ta neposredno vpliva na življensko dobo baterije, poleg tega pa mora biti dovolj kratek, da signala ne izgubljamo prepogosto. Zato smo se odločili tudi to vključiti v naše testiranje in tako sistem preizkusili pri intervalih 100 ms, 400 ms, 1 s ter 10 s. S tem smo zajeli tudi obe meji razpona, ki ga naprava omogoča. Naprave smo testirali tudi pri različnih močeh oddajnika, in sicer pri 0 dBmW s kalibracijsko vrednostjo 65, -6 dBmW s

kalibracijsko vrednostjo 71 ter -23 dBmW s kalibracijsko vrednostjo 90. Te moči oddajanja so podprte s strani proizvajalca, vrednosti za kalibracijo pa so vzete iz dokumenta tehničnih specifikacij naprave [26].

Testirali smo tudi različne postavitve oddajnikov v prostoru. Osnovna postavitev je bila na stropu v sredini prostora in brez ovir v bližini. Nato smo scenarij preizkusili še z oddajniki v kotih prostora na stropu ter v kotu na tleh za lesenim pohištvo.

Teste smo izvajali tako, da smo mobilno napravo nosili iz prostora v prostor in beležili, kaj se je dogajalo s prejetim signalom. V primeru neregularnega zajema signala nam aplikacija prikaže alarm, ki bi se v pravem sistemu sicer prikazal v napravi negovalca. Alarmi so podrobneje opisani v poglavju 5.3.

## 5.2 Regularno delovanje

Najboljše rezultate smo dobili pri intervalu oddajanja 400 ms. Ker je gibanje osebe po prostorih relativno počasno, se izkaže, da krajši interval ne doprinese bistvenih izboljšav v kvaliteti lociranja, hkrati pa precej skrajša življenjsko dobo baterije. Te žal nismo mogli pravilno preizkusiti, saj je preveč dolga za naš poenostavljen scenarij. Poleg tega pa pri branju stanja baterije iz naprave ne dobimo realne vrednosti. Po specifikacijah proizvajalca se prejeta vrednost nelinearno manjša s porabo energije, za nameček pa nam vrača podatek 100-odstotne napolnjenosti vse dokler napetost ne pade pod 3 V. Pri intervalu 1 s smo dobili še vedno zadovoljive rezultate, čeprav so se razlike pri prehodih med prostori že opazile. Pri intervalu 10 s pa je bilo zaznavanje bistveno prepočasno, da bi zadostovalo potrebam, saj lahko oseba v tako dolgem časovnem obdobju prehodi tudi več prostorov in se s tem izgubijo nekateri podatki o gibanju. Predvsem v primeru, ko nas zanima tudi zgodovina gibanja, je tak interval prekratek.

Po naših ocenah, je 0 dBmW najbolj smiselna moč oddajnika za takšen scenarij, ker smo želeli imeti robusten sistem, ki je čim odpornejši na motnje.

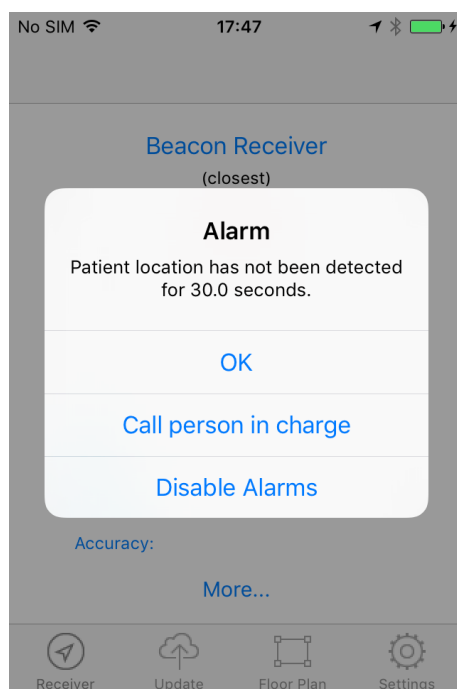
Ker so v večini primerov prostori v stanovanjih majhni, bi lahko uporabili tudi manjšo moč, a lahko postane signal hitro prešibak, če pride med oddajnikom in sprejemnikom do ovir. To se lahko v povprečnem stanovanju hitro zgodi, ko je signal oviran s pohištvom ali zidovi.

Postavitev oddajnika v prostoru je po naših ocenah pričakovano najboljša na stropu v sredini sobe. Na takšen način zagotovimo enakomerno zaznavanje signala po celotnih prostorih. Tudi če so ti majhni in zaznamo oddajnik iz sosednje sobe, ta ne ovira lociranja, saj je zid dovolj močna ovira, da ni dvoumnosti, v katerem prostoru se nahajamo.

## 5.3 Alarmi

Ne glede na nastavljene vrednosti intervala oddajanja in moči oddajnika smo ugotovili, da lahko pride v določenih trenutkih do izgube signala, saj le-ta ni stoodstotno zanesljiv, zlasti pri prehodih med prostori, če pride med mobilno napravo in oddajnikom kakšna ovira. Zaradi tega je pomembno, da sistem ne odreagira z alarmom ob vsakokratni izgubi signala. Napravi je potrebno dati dovolj časa, da spet poskusi locirati oddajnike. V aplikacijo smo vključili tudi javljanje alarmov v obliki pojavnih oken, če je zajem signala drugačen od pričakovanega. Tako smo predvideli dva možna odziva. Prvi se zgodi v primeru, da izgubimo signal za dalj časa. Ta čas mora biti dovolj dolg, da ne pride do lažno pozitivnih napak in je lahko dolg tudi nekaj minut. V aplikaciji ga lahko nastavimo v meniju z nastavitvami. Ko se takšen alarm sproži, negovalcu ponudi možnost njegove potrditve (s tem se časovnik spet zažene in spet sproži alarm, če poteče čas), izklopa alarmov (če je seznanjen z vzrokom in noče, da se alarm ponavlja v nedogled) ter klica na prednastavljeno telefonsko številko. Ta je lahko bolnikova ali od drugega dežurnega negovalca na terenu (slika 5.1).

Drugi odziv pa se zgodi, če se oddaljenost od oddajnika dlje časa ne spremeni. Takšen odziv je smislen samo v določenih prostorih. S takšnim alarmom lahko ugotovimo na primer, če se bolnik preveč časa zadržuje v



Slika 5.1: Pojavno okno pri dolgotrajni izgubi signala

stranišču ali v kleti, nikakor pa ni smislen v spalnici, kjer se lahko bolnik zadržuje tudi po cel dan. Z vključitvijo BLE oddajnikov s senzorji bi lahko bilo takšnih alarmov še veliko več.

## Poglavje 6

### Sklep

V okviru diplomske naloge smo razvili aplikacijo za lokalno pozicioniranje oseb znotraj zaprtih prostorov s pomočjo BLE tehnologije in preizkusili njeno delovanje v praksi. Pri testiranju smo uporabili različne parametre in ocenili najboljšo kombinacijo za optimalno delovanje pozicioniranja v stanovanju. Aplikacija, ki je bila razvita v diplomski nalogi, je predlagana kot sestavni del večjega senzorskega omrežja za nadzor bolnikov, ki so deležni oskrbe na domu. Čeprav je sistem za potrebe diplomske naloge usmerjen v zdravstveni segment, pa bi ga lahko na enostaven način uporabili tudi za drugačne, bolj komercialne projekte. Tukaj imamo predvsem v mislih potrošnike in njihovo sledenje ter povezovanje v klasičnih trgovinah z uporabo potisnih sporočil (angl. push notification). Takšni sistemi sicer že obstajajo, a so zaenkrat maloštevilčni, vsaj v Sloveniji.

Smiselna razširitev našega sistema bi bilo BLE omrežje s tipali za beleženje telesnega stanja bolnika. Največji izziv tukaj vidim predvsem v praktičnosti rešitve, saj morajo tipala čim manj ovirati bolnika pri vsakodnevnih opravilih. Težavo vidim tudi pri tistih tipalih, ki so za delovanje invazivnejša, kot na primer tipalo za kontinuirano merjenje glukoze v krvi pri sladkornih bolnikih.

IoT tehnologije so postale nepogrešljiv del vsesplošnega povezovanja ljudi in naprav, saj se z njimi vede ali nevede srečujemo praktično povsod. Ocenju-

jem, da še vedno nismo na višku njihove integracije v vsakodnevne procese v podjetjih in da se bo trenuten trend samo še stopnjeval. Z razcvetom interneta in mobilnih naprav tehnologija napreduje s svetlobno hitrostjo, z njo pa postaja vedno bolj pereč problem nadzor nad podatki, saj količina le-teh raste eksponentno. Pri implementaciji predlagane rešitve bi bilo potrebno največ truda vložiti v nadzor in varovanje podatkov, sploh ker ti večinoma zajemajo občutljive osebne podatke bolnikov.

Tema diplomske naloge mi je bila izredno zanimiva, a žal zajema le vrh ledene gore. Ker v sistemu oskrbe na domu, kot ga imamo pri nas, vidim velik problem, upam, da bo kdo zgodbo, ki sem jo tukaj načel, peljal naprej ter implementiral celovito rešitev, ki bi bila dostopna ljudem, potrebnim oskrbe, predvsem tistim, ki si žal iz finančnih ali drugih razlogov ne morejo privoščiti celodnevne oskrbe v domu.

# Literatura

- [1] Melanie Swan. Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 1(3), 2012.
- [2] Amine M Houyou, Hans-Peter Huth, Christos Kloukinas, Henning Trsek, and Domenico Rotondi. Agile manufacturing: General challenges and an iot@ work perspective. In *Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2012 IEEE 17th Conference on*, pages 1–7. IEEE, 2012.
- [3] Denise Lund, Carrie MacGillivray, Vernon Turner, and Mario Morales. Worldwide and regional internet of things (iot) 2014–2020 forecast: A virtuous circle of proven value and demand. *International Data Corporation (IDC), Tech. Rep*, 2014.
- [4] Število iot naprav do leta 2020. <http://labs.sogeti.com/systems-systems-sos-models-models-mom/>. Dostopano 28. 10. 2016.
- [5] Nizkofrekvenčni rfid. <http://blog.atlasrfidstore.com/low-frequency-rfid-and-animal-identification>. Dostopano 6. 8. 2016.
- [6] Rfid frekvence oddajanja. <http://www.impinj.com/resources/about-rfid/the-different-types-of-rfid-systems/>. Dostopano 7. 8. 2016.

- 
- [7] What is rfid? <http://www.technovelgy.com/ct/technology-article.asp>. Dostopano 9. 8. 2016.
- [8] Tehnologije v proizvodnih procesih. <https://hsc.com/About-Us/News-Events/The-Android-Powered-Supply-Chain-1>. Dostopano 3. 8. 2016.
- [9] Near field communication. <http://nearfieldcommunication.org>. Dostopano 9. 8. 2016.
- [10] Squareup nfc. <https://squareup.com/guides/nfc>. Dostopano 13. 8. 2016.
- [11] Bluetooth. <https://www.bluetooth.com>. Dostopano 11. 8. 2016.
- [12] Farrukh Aslam Khan, Aftab Ali, Haider Abbas, and Nur Al Hasan Hal-dar. A cloud-based healthcare framework for security and patients' data privacy using wireless body area networks. *Procedia Computer Science*, 34:511–517, 2014.
- [13] Andreas Schmidt, Ignasi Forne, and Axel Imhof. Bioinformatic analysis of proteomics data. *BMC systems biology*, 8(2):S3, 2014.
- [14] Varovanje podatkov v zdravstvu. <http://www.hipaajournal.com/quarter-of-healthcare-organizations-dont-encrypt-cloud-data-8694/>. Dostopano 18. 2. 2017.
- [15] Mateja Nagode, Lea Lebar, Nadja Kovač, and Nejc Vidrih. Izvajanje pomoči na domu: Analiza stanja v letu 2015, končno poročilo. 01, 2016.
- [16] Standard and fit for purpose. <http://www.wirepas.com/standard-fit-purpose/>. Dostopano 17. 9. 2016.
- [17] Bluetooth core specification. <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>. Dostopano 23. 11. 2016.



- 
- [18] Družina bluetooth 4.0. <https://www.linkedin.com/pulse/what-bluetooth-low-energy-means-internet-things-premaratne>. Dostopano 9. 9. 2016.
- [19] Bluetooth low energy sklad. <http://www.linuxsecrets.com/images/2014/0716/ti-ble-stack.png>. Dostopano 2. 12. 2016.
- [20] Pričakovan domet v odvisnosti od moči oddajanja. <https://support.kontakt.io/hc/en-gb/articles/201621521-Transmission-power-Range-and-RSSI>. Dostopano 4. 1. 2017.
- [21] ibeacon for developers. <https://developer.apple.com/ibeacon/>. Dostopano 5. 11. 2016.
- [22] Dfrobot - bluno nano. [https://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1122](https://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1122). Dostopano 7. 9. 2016.
- [23] Mcdonald's beacon strategy pushes in-store conversion rate to 20pc. <http://www.mobilemarketer.com/cms/news/software-technology/20338.html>. Dostopano 14. 10. 2016.
- [24] Beacon inside - 1st gen. <http://developers.beaconinside.com/docs/beaconinside-beacon-1st-gen>. Dostopano 6. 7. 2016.
- [25] Alamofire - elegant http networking in swift. <https://github.com/Alamofire/Alamofire>. Dostopano 7. 8. 2016.
- [26] Beacon inside 1st gen - tehnične specifikacije. <https://www.dropbox.com/s/5w5oubcoweinknm/BEACONinside-iBeacon-Datasheet.pdf>. Dostopano 17. 10. 2016.